

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Ověření nových vyměnitelných břitových destiček pro
vyvrtávání

Testing of New Indexable Inserts for Boring

Student: Jan Schiffner

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Schiffner**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Ověření nových vyměnitelných břitových destiček pro vyvrtávání**
Testing of New Indexable Inserts for Boring

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Technologie výroby děr.
3. Moderní trendy ve vyvrtávání.
4. Experimentální ověřování nových nástrojů.
5. Diskuze experimentů.
6. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, K.; HAVRILA, M.; MARCINCIN-NOVÁK, J.; MÁDL, J.; ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**


Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry



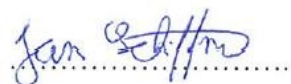


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21.5.2012

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jan Schiffner', is written over a horizontal dotted line.

podpis

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 21.5.2012


Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jan Schiffner

Sídliště 4

Loštice

789 83


.....
podpis

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SCHIFFNER, J. *Ověření nových vyměnitelných břitových destiček pro vyvrtávání*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 54 s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Bakalářská práce se zabývá zkoumáním vlastností vyměnitelných břitových destiček pro vyvrtávání v nerezovém materiálu 17349.4. Tato práce mi byla nabídnuta firmou Pramet Tools, s.r.o., sídlící v Šumperku, která se zabývá výrobou VBD. Požadavkem firmy bylo porovnat životnost nového utvařeče VBD s destičkou konkurenční firmy. V úvodu práce je seznámení s historií podniku a jejím rozvojem. Další část obsahuje rozdělení jednotlivých nástrojů pro obrábění vnitřních otvorů a samotnou metodu vyvrtávání. Hlavní část pojednává o opotřebení vyměnitelných břitových destiček v daných časových intervalech. V závěru je popsáno vyhodnocení kvality VBD a jsou zde znázorněny grafy trvanlivosti, řezivosti a průběhu opotřebení.

Klíčová slova: obrábění, materiál 17349.4, ověření nových VBD, vyvrtávání.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SCHIFFNER, J. *Testing of New Indexable Inserts for Boring*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2012, 54 p. Thesis head: Vrba, V.

The bachelor thesis deals with the characteristic features of the indexable cutting inserts using the method of boring in the stainless material 17349.4. This work was offered to me by the company Pramet Tools, s.r.o., from Šumperk, which focuses on the fabrication of the indexable cutting inserts. I was asked to compare the life span of a new cutting insert with an indexable cutting insert of a rival company. The introduction of the bachelor thesis focuses on the history of the company and its development. The next part contains the classification of the tools for working the inner holes and the method of boring as such. The body of the thesis focuses on the wear of the indexable cutting inserts in the specific time intervals. In the conclusion the evaluation of the quality of the indexable cutting inserts can be found as same as the graphs of durability, cutting power and wear process.

Keywords: working, material 17349.4, testing of New Indexable Inserts, Boring.

Obsah bakalářské práce

Seznam použitého značení.....	8
Úvod.....	10
1. Obecná charakteristika daného problému	11
1.1. Popis firmy Pramet Tools, s.r.o. v České republice.....	11
2. Technologie výroby děr	12
2.1. Vrtání	12
2.1.1. Vrtáky	12
2.2. Vyhrubování a vystružování	13
2.2.1. Výhrubníky	14
2.3. Vystružování	15
2.3.1. Výstružníky	15
2.4. Vyvrtávání	16
3. Moderní trendy ve vyvrtávání	20
3.1. Trendy ve vývoji nástrojů	20
3.2. Stroje pro vyvrtávání	20
3.2.1. Vodorovné vyvrtávačky	20
3.2.2. Stolová vyvrtávačka	21
3.2.3. Desková vyvrtávačka	21
3.2.4. Jemná vyvrtávačka	21
3.3. Práce na vyvrtávacích	21
3.4. Řezné podmínky	22
3.5. Dosahované parametry	23
3.6. Vyměnitelné břitové destičky	24
3.6.1. Rychlořezné oceli	24
3.6.2. Slinuté karbidy	24
3.6.3. Cermety	26
3.6.4. Řezná keramika	26
3.6.5. Polykrystalický diamant	26
3.6.6. Polykrystalický kubický nitrid boru	27
3.7. Technologická úprava VBD	27
3.7.1. Metoda CVD	27
3.7.2. Metoda PVD	28
3.8. Druhy opotřebení vyměnitelných břitových destiček	29
4. Experimentální ověření nových nástrojů	36
4.1. Charakteristika stroje	36
4.2. Použitý materiál, na němž byla zkouška provedena	37
4.3. Použité vyměnitelné břitové destičky	38
4.3.1. Použití VBD CCMT	38

4.4.	Řezný nástroj	39
4.5.	Řezné podmínky	40
4.6.	Popis provedeného experimentu	40
4.6.1.	Destička s utvařečem FM s povlakem P523 Pramet Tools, s.r.o.....	40
4.6.2.	Destička s utvařečem UM s povlakem P010 Pramet Tools, s.r.o.....	42
4.6.3.	Destička s utvařečem UR s povlakem P010 Pramet Tools, s.r.o.....	43
4.6.4.	Destička s utvařečem UR s povlakem P523 Pramet Tools, s.r.o.....	44
4.6.5.	Destička s utvařečem MF2 s povlakem PVD od firmy SECO	45
5. Diskuze experimentů		46
6. Technicko – ekonomické zhodnocení.....		48
Závěr		52
Seznam použité literatury		54

Seznam použitého značení

ZKRATKA	NÁZEV
Ar	argon
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý
AlCl ₃	chlorid hlinitý
C	uhlík
CH ₄	methan
CVD	chemická metoda povlakování
H ₂	plynný vodík
KBN	kubický nitrid boru
Mo	molybden
NH ₄	amoniak
N ₂	plynný dusík
PCVD	chemické povlakování s využitím mikropulzní plazmy
PKBN	polykrystalický kubický nitrid boru
PKD	polykrystalický diamant
PVD	fyzikální metoda povlakování
VBD	vyměnitelná břitová destička
RO	rychlořezné oceli
SK	slinuté karbidy
Ta	tantal
Ti	titan
TiC	karbid titanu
TiCN	karbon nitrid titanu
TiCl ₄	chlorid titaničitý
TiN	nitrid titanu
W	wolfram

ZKRATKA	NÁZEV	JEDNOTKA
a_p	hloubka řezu	[mm]
d	průměr	[mm]
f_{ot}	posuv na otáčku	[mm]
l_t	délka	[mm]
m	hmotnost	[kg]
r	rádus	[mm]
R_m	pevnost v tahu	[N / mm ²]
R_p	mez kluzu	[N / mm ²]
v_c	řezná rychlost	[m . min ⁻¹]
λ_s	nástrojový úhel sklonu ostří	[°]
γ_o	nástrojový úhel čela v rovině ortogonální	[°]

Úvod

V dnešní moderní době se technologie v obrábění neustále zlepšují a vyvíjejí. O tom svědčí i technologie vyvrtávání, kdy je kladen velký důraz na výslednou kvalitu povrchu vnitřních částí výrobků. Musí být docíleno co největší přesnosti, která je předepsaná normou. Největší podíl na povrchové úpravě daného materiálu má břitová destička. Na trhu se nachází mnoho různých druhů materiálů a proto je nutné zvolit pro každý typ materiálu jiný utvařeč.

Vývoj řezných nástrojů probíhá již několik desetiletí a zjevně jen tak nepřestane. Tento vývoj zaměstnává stále více lidí v oblasti obrábění. Nároky na VBD jsou stále vyšší. Docílení vysokých řezných parametrů a vysoké kvality obrobeného povrchu je rok od roku žádanější. Tato technologie přispívá obrábět hůře obrobitelné materiály, jejichž tvrdost je vysoká. Zvláště se jedná o korozivzdorné oceli.

V dnešní době jsou vyměnitelné břitové destičky z větší části povlakované, opatřené tvrdými otěruvzdornými vrstvami. Povlakování je velkým přínosem, jak z hlediska technického, tak ekonomického. Povlakováním se prodlužuje životnost destičky a přispívá také ke kvalitnímu řeznému výkonu. Pro každý druh materiálu je vhodný jiný povlak. Na životnost destičky má také vliv geometrie a utvařeč.

Podnikem Pramet Tools, s.r.o. bylo zadáno otestování kvality pěti druhů destiček. Čtyři náležely firmě Pramet Tools, s.r.o. a jedna konkurenční firmě. Úkolem bylo stanovit vyhodnocení nejvhodnější destičky pro vyvrtávání do korozivzdorné oceli 17349.4.

1. Obecná charakteristika daného problému

Firmou Pramet Tools, s.r.o. bylo zadáno porovnání vícebřitě destičky typu C: PRAMET CCMT09T304 s utvařečem FM, UM, UR a konkurenční destičky SECO CCMT09T304 s utvařečem MF2. Daný test byl prováděn na zkušebně v podniku, za účasti kvalifikovaných pracovníků. Test vyvrtávání byl uskutečněn na stroji Heynumat 2U s výkonem 50,0 kW. Použitým materiálem byla austenitická korozivzdorná ocel 17349.4 skupiny M a tvrdostí 180 HB. Tento materiál je velmi těžko obrobitelný a proto dochází k rychlejšímu opotřebení daných VBD než při použití jiného obráběného materiálu. Test probíhal tím způsobem, že do upnutého materiálu se vyvrtával vnitřní otvor pomocí vyměnitelných destiček. Každých 5 minut bylo měřeno opotřebení a sledovány změny na hlavním a vedlejším hřbetu pomocí mikroskopu. Cílem zkoušky bylo vyhodnocení nejvhodnější destičky pro tuto metodu obrábění.

1.1. Popis firmy Pramet Tools, s.r.o. v České republice

Tato bakalářská práce je vypracována v Prametu Tools, který patří mezi největší a nejznámější výrobce obráběcích nástrojů. V roce 1933 společnost Stellwag zahájila výrobu slinutých karbidů a nástrojů s přírodním diamantem. V roce 1951 byla zahájena výroba v Šumperku. V současné době zaměstnává 710 pracovníků. Nejvíce se zaměřuje na výrobu vyměnitelných břitových destiček. Více jak 50-ti letá tradice a zkušenost ve výrobě slinutých karbidů, jak výzkum tak vývoj, umožnily firmě udržet si vedoucí místo v tomto sortimentu na tuzemském území a také získávat stále vyšší uplatnění na náročných exportních trzích. Od roku 1999 začala nová etapa společnosti. Došlo ke spojení s finančně silným partnerem, který zaujímá přední světovou pozici mezi výrobci obráběcích nástrojů. Společnost navýšila své základní finance na 250 mil. Kč a získané prostředky byly použity na rozšíření podniku. Byly pořízeny nové technologie pro moderní výrobu vyměnitelných břitových destiček. Pramet Tools má spoustu poboček po celé Evropě: od roku 1995 na Slovensku, od roku 1996 v Německu, od roku 2000 v Polsku a v roce 2002 byla založena pobočka v Itálii a v následujících letech v Rusku, Číně, Indii, Brazílii. Do dalších zemí dodává své výrobky exportním oddělením prodeje nebo prostřednictvím smluvních prodejců. Podnik vyrábí tento sortiment: vyměnitelné břitové destičky, frézovací nástroje s VBD, soustružnické nože s VBD, vrtáky s VBD, lisovací a tvářecí nástroje ze slinutých karbidů a upínače. [1]

2. Technologie výroby dř

Jedná se o technologie, které slouží k obrábění dř. Tato operace je poměrně velmi častá ve strojírenské výrobě. Obrábění dř je způsobem obrábění vnitřních ploch strojních součástí. Tvary dř mohou být různé a odvíjí se od jejich funkce. Méně náročná je výroba rotačních dř, které se objevují ve strojírenství nejčastěji. [2]

2.1. Vrtání

U vrtání rozdělujeme otvory na průchozí a neprůchozí. Průchozí díry jsou z technologického hlediska poměrně snadno obrobitelné. U neprůchozích dř (slepých) musíme dávat pozor na jejich zakončení, na zabezpečení přesné hloubky vrtání, na nutnost odřezávání zbytku třísky ze dna díry. Tato tříska je doříznuta tak, že vrták po zastavení posuvu vykoná ještě několik otáček. [2]

Typickým rysem vrtacích nástrojů je, že se řezná rychlost zmenšuje od obvodu směrem ke středu nástroje. V ose nástroje má nulovou hodnotu. Za řeznou rychlost je tedy považována obvodová rychlost na maximálním průměru ostří nástroje a určujeme ji podobně jako u soustružení. [2]

2.1.1. Vrtáky

Jsou to nástroje určené k vrtání kruhových otvorů do různých materiálů. Jejich obvyklým tvarem jsou dvojchodé šroubovice, ukončené břitem nebo břity. Druhý konec je ukončen upínací stopkou. Vrták může být používán jako samotný ruční nástroj nebo je uchycen do vrtacího stroje. Vrtáky jsou nejčastěji vyráběny z oceli a jejich vlastnosti jsou voleny dle materiálu. Použití je tam, kde není nutná velká přesnost na jakost vnitřních dř. [11]



Obr. 2.1. Vrtáky [11]

2.2. Vyhrubování a vystružování

Otvory po obrábění vrtáním mají často vysokou drsnost obrobeného povrchu a velmi často nepoužitelné geometrické parametry. Nejčastěji to jsou: nepřesná kruhovitost a válcovitost, nedodržení jmenovitého rozměru. Proto jsou tyto otvory po vrtání vylepšeny dokončovacími operacemi, jako jsou vyhrubování a vystružování. Pomocí těchto metod se dosahuje zpřesnění tvaru díry, zlepšení otvoru, snižuje se drsnost povrchu. [2]

U malých otvorů do průměru 10 mm se používají jen výstružníky. U velkých rozměrů se nejdříve otvor vyhrubuje a pak vystružuje. Z toho plyne, že vyhrubování není nikdy poslední obráběcí operací, jelikož ještě následuje vystružování. [2]

Vyhrubování se používá ke zpřesnění geometrických požadavků a vystružování k dokončení přesné díry s těmito požadavky : geometrické parametry a drsnosti povrchu otvoru. V těchto případech musíme dodržet přídatky na vyhrubování a vystružování. Velikost těchto přídatků záleží na druhu obráběného materiálu, na kvalitě obrobené díry a na konstrukci nástroje. [2]

2.2.1. Výhrubníky

Jsou to několikabřitové nástroje, které se při obrábění otáčejí kolem své vlastní osy a ve směru otáčení se posouvají k obrobku. [3]

Rozdělení výhrubníků:

- dle způsobu upnutí rozeznáváme výhrubníky s válcovou nebo kuželovou stopkou a výhrubníky nástrčné s kuželovou dutinou,
- podle tvaru se výhrubníky rozlišují na válcové, kuželové a tvarové. [3]

Kromě těchto výhrubníků jsou také tříbřitové šroubovitě výhrubníky. Konstrukce je totožná s konstrukcí šroubovitých vrtáků. Průměr těchto výhrubníků je od 10 mm do 50 mm. Tyto výhrubníky mohou být zhotoveny také s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu. Při obrábění hlubokých děr je přiváděna řezná kapalina. [3]

Jsou vhodné na obrábění hrubých stěn a děr v odlitcích. Při vyhrubování se dosahuje lepší jakosti povrchu stěn proto, že řezné síly jsou menší než při vrtání. To má za následek dobré vedení výhrubníku. Má větší počet břitů. [3]



Obr. 2.2. Výhrubník šroubovitý tříbřítý [3]



Obr. 2.3. Výhrubník s kuželovou stopkou [3]

2.3. Vystružování

Řadíme mezi dokončovací operace výroby přesných otvorů. Zajišťuje předepsanou drsnost povrchu a geometrické parametry díry. Přípravek na vystružování musí být dostatečně velký, aby nedocházelo k vytlačování materiálu, ale k jeho odřezávání. Tímto je ovlivněna kvalita vystružování. Kdyby nastalo vytlačování materiálu, daná díra by nedosáhla požadovaného kruhového průřezu a životnost nástroje by se podstatně zkrátila. Pro zajištění velmi přesného obrábění musí být jejich břity co nejostřejší a to s poloměrem zaoblení ostří menším než $r = 10 \mu\text{m}$. Proto se musí dané břity pečlivě brousit. [2]

2.3.1. Výstružníky

Jsou upínací nástroje vyrobeny z rychlořezné oceli a slouží k přesnému opracování nebo vyhrubování vnitřních otvorů. S tímto nástrojem lze vytvářet válcové nebo kuželové otvory. Při použití vrtáním nelze dosáhnout vysoké přesnosti. Při větší požadované přesnosti (třída přesnosti IT7 a IT5) se nejdříve vyvrtá menší otvor a ten se potom opracuje pomocí výstružníku. Pomocí tohoto nástroje se odebere maximální vrstva 0,5 mm materiálu. [3]

Výstružník je víceřezný nástroj složený ze 4 až 18 řezných hran. Tyto hrany jsou rozděleny s nepravidelnými odstupy tak, aby byl dosažen co nejpřesnější otvor. Jsou jednoduché i nastavitelné. Do tělesa výstružníku jsou upevněny jednotlivě nastavitelné břity s řeznými destičkami ze slinutých karbidů - pro vysokou řeznou rychlost a zvýšení odolnosti. [3]



Obr. 2.4. Výstružníky [6]

2.4. Vyvrtávání

Obecná charakteristika vyvrtávání

Tato metoda se používá tam, kde je potřeba důraz na přesnost a jakost povrchu materiálu. Je to obrábění předzhotovených vnitřních otvorů jedno nebo vícebřitým nástrojem. Touto metodou se zvětšují díry kruhového průřezu, které jsou vytvořené vrtáním, tvářením, předlitím atd. Vyvrtáváním můžeme opracovávat díry průchozí nebo i neprůchozí v širokém rozsahu přesnosti a jakosti obrobeného povrchu. [4]

Podstata metody pohybu

Hlavní řezný pohyb je otáčivý. Na vodorovných vyvrtávacích ho vykonává nástroj upnutý ve vřetenu, na soustruzích obrobek. Na soustruzích vykonává posuv nástroj upnutý v nožové hlavě. Na vodorovných vyvrtávacích může posuv konat nástroj vysouváním pinoly z vřetene nebo obrobek upnutý na pracovním stole vodorovné vyvrtávky. Před dokončovací operací se díra upravuje takzvaným hrubováním, které slouží k zpřesnění díry a geometrického tvaru. Při vyvrtávání načisto se používá vyšších řezných rychlostí, které slouží ke zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Při vyšších rychlostech jsou průřezy třísek malé. Vyvrtávání se používá především u děr s větším průměrem než 30 mm, ale lze vyvrtávat i díry menší a to od průměru asi kolem 1 mm. [4]

Výhody vyvrtávání

Vytvořit přesný otvor lze pomocí vrtáků, výhrubníků a výstružníků. Nevýhoda je ta, že každý z těchto nástrojů vyvrtá jen jeden rozměr a pro jiné průměry otvorů se musí kupovat další nástroje. Tyto nástroje jsou tvořeny ze dvou a více břitů. To může mít za následek nepřesnost kruhovitosti otvoru a vybočení nástroje z osy otvoru. [5]

Jestliže použijeme vyvrtávací hlavu, tak můžeme jedním nožem vyvrtávat otvory v širokém rozsahu průměru. Touto metodou docílíme vytvoření dokonalé kruhovitě díry a to rotací jediného břitu vyvrtávacího nože kolem osy vřetene obráběcího stroje. [5]

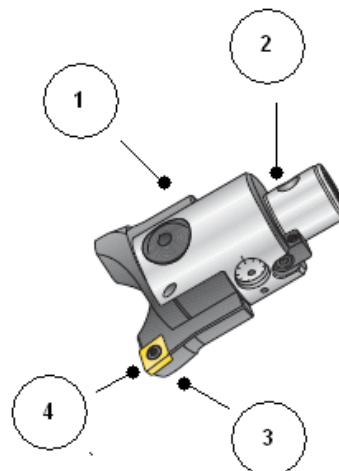
Důležité zásady pro dosažení kvality vyvrtávání vyvrtávací hlavou.

- rozhodující pro dosažení přesného rozměru a kvalitní jakosti povrchu je ostrost břitu vyvrtávajícího nože,
- musíme brát ohled na hloubku vyvrtávání a snažíme se o minimální vyložení vyvrtávajícího nože a tím maximalizujeme jeho tuhost (max. délka vyložení $4,5 \times \varnothing$ nože D),
- vyvrtávání provádíme jen strojním posuvem,
- u hlubokého otvoru počítáme s odtlačení břitu hodně vyložného vyvrtávajícího nože. Při konečném řezu bude odebrán materiál, aniž by musel být dodatečně nastaven rozměr,
- vyhneme se zastavení otáček uprostřed řezu, mohlo by dojít k vylomení břitu vyvrtávajícího nože,
- vyvrtávací hlava by se měla během vyjíždění nástroje z otvoru otáčet. Docílíme tím větší kvality povrchu vyvrtávaného otvoru,
- u slepé díry se vyhneme naražení vyvrtávajícího nástroje na dno. [5]

Vyvrtávací nástroj je složen z těchto částí :

Legenda :

- 1) vyvrtávací hlava
- 2) uchopovací část
- 3) uložení pro VBD
- 4) vyměnitelná břitová destička

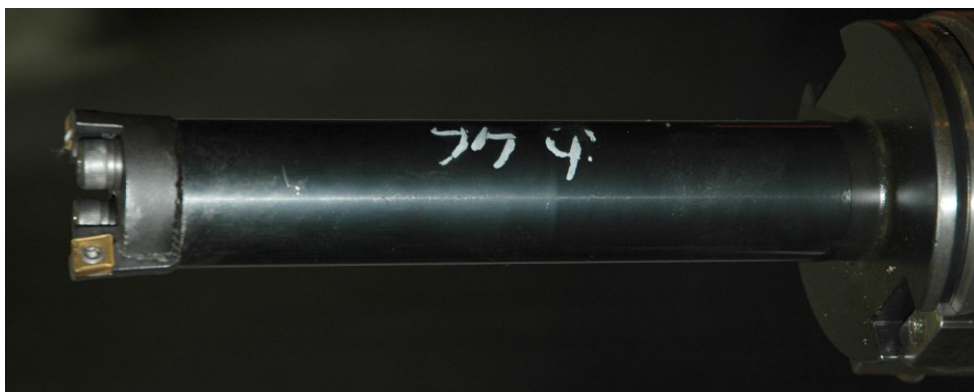


Obr. 2.5. Vyvrtávací hlava [6]

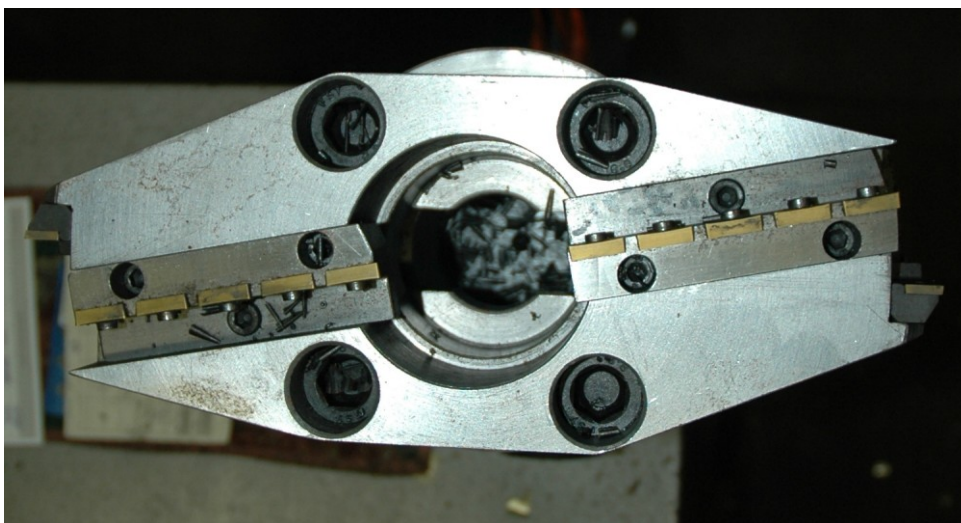
Vyvrtávací tyč má nejčastěji kruhový průřez do kterého jsou upnuty vyvrtávací nože. Je nejčastěji jednobřítá, dvoubřítá nebo vícebřítá (např. pro hrubovací operace). Používá se pro obrábění vnitřních ploch, složených z válcových ploch, kuželových a rovinných ploch. Vyvrtávací tyče jsou upnuty do vřetene vyvrtávacích strojů nebo vrtaček a při vyvrtávání na soustruzích do nožové hlavy. Podle uložení známe tyč uloženou:

- ve vřetenu - letmé uložení,
- ve vřetenu a podepřená ložiskem. [4]

Při hrubování jsou používány dvou a vícebřité vyvrtávací tyče, aby bylo možné zvýšit úběr materiálu. Břity musí být přesně uspořádány tak, aby pracovaly na stejném průměru a odebíraly stejný průřez třísky. Z toho je jasné, že tyč je namáhána pouze točivým momentem a ne ohybem. Jednobřité vyvrtávací tyče se používají většinou při obrábění načisto. Dosahuje se malých průřezů třísek, vysoké přesnosti díry a jakosti obrobeneho povrchu. [4]



Obr. 2.6. Dvoubřítá tyč



Obr. 2.7. Vyvrtávací tyč s osazením více VBD

Vyvrťovací nůž

Do vyvrťovací tyče je různými způsoby upnut vyvrťovací nůž a to tak, aby bylo možné měnit polohu nože a tím velikost vyvrťovaného průměru.

Způsoby upínání vyvrťovacích nožů do vyvrťovacích tyčí:

- jednoduché upnutí šrouby,
- vyvrťovací hlava s mikrometrickým stavěcím šroubem pro přesné nastavení polohy nástroje. [4]

Pro vyvrtání přesných děr pomocí vyvrťovacích tyčí je nůž uložen v saních, které se nastaví mikrometrickým šroubem na daný průměr díry. [4]

Krátké tuhé vyvrťovací tyče se často používají u číslicově řízených (NC) strojů s automatickou výměnou nástrojů. Vyvrťovací hlava se používá pro vyvrťování krátkých přesných děr, pro zarovnání, ale můžeme ji použít i při osazení čela díry. [4]

3. Moderní trendy ve vyvrtávání

3.1. Trendy ve vývoji nástrojů

Při výrobě skříňových součástí, zvláště na NC strojích, je vyvrtávání častou operací. Z důvodu vysoké ceny přesných vyvrtávacích tyčí se často používají stavebnice nástrojů pro NC stroje. Upínací část může být stejná pro řadu různých nástrojů. Využívá se prodlužovacích nástavců, na které lze upínat nejrůznější typy vyvrtávacích hlav a fréz a nebo pomocí sklíčidel stopkové frézy, vrtáky, výstružníky, závitníky apod. Tak vznikají často rozsáhlé stavebnice řezných nástrojů. Tyto stavebnice řezných nástrojů můžeme velmi často ekonomicky využít. „Pro obrábění slitin neželezných kovů se s výhodou využívá pro dokončovací operace nástrojů, osázených noži s břity ze syntetického diamantu.“ [4] Obrábění se provádí malými hloubkami řezu a to 0,1 až 0,3 mm a s vyššími řeznými rychlostmi. Obrobené otvory mají velmi vysokou geometrickou přesnost a jakost obrobeného povrchu. [4]

Vyvrtávací tyče s větším vyložením jsou náchylné ke vzniku kmitání. Tento štihllostní poměr je $L : d > 4$. Těleso těchto tyčí se musí vyrábět z materiálu s vyšším modulem pružnosti a s vyšším materiálovým tlumením vibrací. Materiál pro takovou výrobu je např. slinutý karbid, pomocí něhož lze dosáhnout poměru $L : d = 8$ až 9 . Pomocí speciálních dynamických absorbérů kmitů (tlumičů) lze dosáhnout zvýšení štihllostního poměru až na $L : d = 10$ až 11 . Speciální dynamické absorbéry kmitů jsou umístěny do vyvrtávací tyče. [4]

3.2. Stroje pro vyvrtávání

3.2.1. Vodorovné vyvrtávačky

Jedná se o všestranné obráběcí stroje s řadou přídatných zařízení. Vodorovné vyvrtávačky mohou provádět různé operace. Tyto stroje se využívají v malosériové výrobě. Vyrábějí se v tomto provedení: vodorovné stolové vyvrtávačky, vodorovné deskové vyvrtávačky, jemné vyvrtávačky. [4]

3.2.2. Stolová vyvrtávačka

Na pevném stojanu je výškově manipulovatelný vřeteník. Pracovní stůl má příčný a podélný posuv a může se otáčet kolem svislé osy. Vřetenem vykonává hlavní řezný pohyb otáčivý a vysouvá se ve směru své osy. Na druhé straně lože je pomocný stojan s ložiskem pro podepření dlouhých vyvrtávacích tyčí. Pohyb vřeteníku a stolu je proveden pomocí vodících šroubů a matic. [4]

3.2.3. Desková vyvrtávačka

Má vřeteník podobný jako stolová vyvrtávačka, ale s tím rozdílem, že stojan se může pohybovat příčně a stroj nemá pracovní stůl. Obrobek nevykonává žádný pohyb a je upnut na pracovní desku. Tyto deskové vyvrtávačky jsou používány pro vyvrtávání děr do těžkých a rozměrově velkých obrobků. [4]

3.2.4. Jemná vyvrtávačka

Skládá se z jednoho nebo více vřeteníků upevněných na loži. Obrobek je upevněn na pracovním stole, který se může po loži posouvat. Stůl provádí posuvné pohyby a pohon stolu je většinou hydraulický. Jako nástroj je používáno krátkých tuhých vyvrtávacích tyčí. Pro přesnou jakost díry, musí být správná vyváženost všech otáčivých elementů. [4]

3.3. Práce na vyvrtávačkách

Vodorovné vyvrtávačky jsou univerzální a může se na nich pracovat všemi osovými nástroji. Hlavním úkonem je vyvrtávání válcových děr, ale můžeme na nich i vyhrubovat, vrtat, vystružovat, řezat závity, frézovat, vytvářet zápichy v dírách, zarovnávat čela a zahlubovat. Pomocí vyvrtávací hlavy s nožovým suportem, jenž má radiální posuv odvozený od otáčení hlavy, se uskutečňuje zarovnání čelních ploch. Na této vyvrtávačce lze obrábět kuželové plochy, soustružit vnější válcové plochy a to za pomoci použití zvláštních přípravků. [4]

3.4. Řezné podmínky

Volba průřezu třísky je omezoována malou tuhostí vyvrtávacích tyčí. Při obrábění v díře je řezná rychlost ovlivňována špatným odvodem tepla a také zhoršenými podmínkami odvodu třísek z místa řezu. S těmito řeznými podmínkami můžeme volit stejné opracování jako při soustružení. [4]

Tab. 3.1. Hodnoty posuvu a hloubky řezu [4]

Operace	Posuv na otáčku [mm]	Hloubka řezu [mm]
Hrubování	0,1 až 1,5	3 až 5
Načisto	0,04 až 0,3	0,2 až 0,5
Jemné vyvrtávání	0,005 až 0,05	0,1 až 0,3

Podle tuhosti vyvrtávací tyče a požadované jakosti obrobeného povrchu volíme velikost posuvu. Řezná rychlost u vyvrtávání se určí stejně jako při soustružení, snižuje se koeficientem závislejícím na průměru díry:

$$v_{cv} = v_{cs} \cdot k$$

Kde:

v_{cv} - rychlost při vyvrtávání [m. min⁻¹]

v_{cs} - řezná rychlost při soustružení [m. min⁻¹]

k – opravný koeficient, jeho hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce

Tab. 3.2. Tabulka pro stanovení koeficientu [4]

Průměr díry [mm]	Opravný koeficient k
Větší než 250	1
150 až 250	0,95
80 až 150	0,90
50 až 80	0,80
20 až 50	0,70

Abychom dosáhli vyšší trvanlivosti břitů, zejména u nástrojů s břity z rychlořezných ocelí, používáme chlazení. Pomocí chladicí kapaliny dosáhneme snadnější odstraňování třísek z vyvrtané díry. [4]

3.5. Dosahované parametry

Velmi důležitým parametrem je dobré utváření třísek. Jestliže není tříska spolehlivě utvářena, odtlačuje nástroj od obrobené plochy a namotává se na něj, tím dochází k poškrábání obrobeného povrchu třískou a zhoršuje se geometrická přesnost díry. Pomocí tzv. utvařeče dosáhneme dobrého utváření třísky a to tak, že změnímme řezné podmínky. Utvařeče jsou žlábký, vybroušené stupínky či výstupky, které jsou vytvořené na čele břitu nástroje a zajišťují dělení odcházející třísky. [4]

Tab. 3.3. Dosahované hodnoty přesnosti rozměrů a drsnosti vyvrtávacích děr [4]

Operace	Přesnost rozměrů IT	Jakost obrobeného povrchu Ra [μm]
Hrubování	11 až 14	6,6 až 25
Načisto	9 až 11	1,6 až 6,3
Jemné vyvrtávání	5 až 8	0,2 až 1,6

Přesnosti roztečí děr rozsahu 0,2 až 0,02 mm dosáhneme podle toho, který typ obráběcího stroje a který způsob odměřování polohy vřetene a obrobku použijeme. [4]

3.6. Vyměnitelné břitové destičky

VBD jsou částí řezného nástroje, které mají velký vliv na povrch obráběného materiálu. Tyto VBD jsou vyráběny z rychlořezné oceli, slinutého karbidu, cermetu, řezné keramiky, polykrystalického diamantu, polykrystalického kubického nitridu boru.

3.6.1. Rychlořezné oceli

Jedná se o vysokolegované nástrojové oceli, které se od ostatních druhů nástrojů z oceli liší obsahem legujících přísad a rozdílnými podmínkami tepelného zpracování. Díky tomu získávají, oproti uhlíkovým a legovaným nástrojovým ocelím, lepší tvrdost a odolnost proti popouštění. Vyznačují se rovněž poměrně vysokou pevností a tím příznivou houževnatostí. Tvrdost 60 – 70 HRC je udržována až do teploty 600 °C. Řezná rychlost se při použití těchto nástrojů pohybuje v rozmezí 20 – 80 m. min⁻¹. Jedná se především o nástroje s přesným ostřím, jako jsou protahovací nástroje, nástroje na závity, výstružníky, tvarovací soustružnické nože a frézy. Pomocí přísad je dosaženo daných specifických vlastností jednotlivých druhů RO. Přísady jsou: chrom, molybden, kobalt, vanad, wolfram. Uplatnění rychlořezné oceli není takové jako dříve. Využití je jen tam, kde je zapotřebí vysoké houževnatosti nástroje. [7]

3.6.2. Slinuté karbidy

Jedná se o dvojfázové nebo vícefázové materiály, tvořeny tvrdými katodovými částicemi v kovové vazbě. Jsou připraveny technologií práškové metalurgie. Základními karbidy pro výrobu všech běžných druhů slinutých karbidů jsou karbidy wolframu a titanu. Jako další přísady se používají karbidy tantalu, chrómu. Standardní (běžné nepovlakované) slinuté karbidy pro řezné aplikace jsou dle svého užití rozděleny na S a H. [7]

P	Uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12 Legované oceli tříd 13, 14, 15, 16 Nástrojové oceli uhlíkové (19 1..., 19 2..., 19 3...) Nástrojové legované oceli (19 3... až 19 8...) Uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...) Nízko a středně legované ocelolitiny skupiny 27 (4227...) Feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (třídy 17..., lité 4229...)
M	Austenitické a feriticko austenitické oceli korozivzdorné, žáruvzdorné a žárovevné Oceli nemagnetické a otěruvzdorné
K	Šedá litina nelegovaná i legovaná (4224...) Tvárná litina (4223...) Temperovaná litina (4225...)
N	Neželezné kovy, slitiny Al a Cu
S	Speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
H	Zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa Kalené oceli HRC 48 ÷ 60 Tvrzené kokilové litiny HSh 55 ÷ 58

Obr. 3.1. Rozdělení obráběných materiálů [6]

3.6.3. Cermety

Tvrdou složku tvoří TiN, TiC nebo TiCN umístěny v pojivu, tvořeny kobaltem a niklem s malým podílem Ta, Ti, W, Mo, C. Mají třikrát menší tepelnou vodivost než ultrajemnozrnné slinuté karbidy a splňují ideální předpoklady materiálů pro vysokorychlostní suché obrábění, především oceli. Nevýhodou je nižší tvrdost a ohybová pevnost a tím i vyšší náchylnost k tvorbě trhlin a lomů ve srovnání s SK. Vysoký tepelně iniciovaný napěťový gradient, který se vytváří při vysokorychlostním frézování, vede u materiálů typu cermetu k tvorbě hřebenových trhlin. Využití cermetů: ostrý a tvrdý břit je často výhodou při velkosériové výrobě, kde jsou přídatky na obrábění konstantní. Cermety mají dobrou odolnost proti opotřebení čela i hřbetu, vysokou tvrdost za tepla a chemickou stabilitu. Další výhodou je malý sklon k oxidačnímu opotřebení, kvalitnější jakost obrobené plochy a vysoká přesnost rozměrů obrobku a to díky velké trvanlivosti. [7]

3.6.4. Řezná keramika

Tyto vyměnitelné břitové destičky z keramiky mají jednodušší tvar než destičky ze slinutých karbidů. Utváření třísky je řešeno jednoduchým předlisovaným nebo vybroušeným stupínkem nebo přiloženou karbidovou destičkou. Společně s cermety se řezná keramika používá zejména na soustružení, frézování a vyvrtávání: šedé litiny, žáruvzdorných a žárovevých slitin, zušlechtěných (kalených) ocelí, tvářené a temperované litiny a do určité míry i oceli. Řeznou keramiku můžeme také povlakovat, ale v podstatě se tím nezvýší její tvrdost, ale zvýší se mez únavy a odolnost proti vzniku povrchových trhlin. [7]

3.6.5. Polykrystalický diamant

Diamant je nejtvrdším nalezeným materiálem v přírodě. V dnešní době jsou průmyslové diamanty v různých provedeních. V historickém pořadí známe tyto: polykrystal kompak, přírodní monokrystal, syntetický monokrystal a fólie připravená aktivovanou chemickou depozicí z plynné fáze. Diamant se vyznačuje velmi vysokou odolností proti abrazivnímu opotřebení. Nástroje a VBD osazené polykrystalickým diamantem jsou využívány: pro soustružení, vyvrtávání, vrtání a frézování neželezných kovů a slitin, jako je např. hliník a jeho slitiny, měď, mosaz, titan a jeho slitiny. Velmi často jsou tyto nástroje používány při obrábění keramických a plastických hmot s abrazivními plnidly, slinutých karbidů, grafitu, kamene, pryže a dalších kompozitních materiálů s abrazivní složkou. [7]

3.6.6. Polykrystalický kubický nitrid boru

Jedná se o syntetický vyrobený materiál, který v přírodní formě neexistuje. Společně s diamantem, patří k velmi tvrdým materiálům s vysokou pevností za tepla až do 1300 °C. PKBN má dobrou odolnost proti opotřebení a chemickou stabilitu k železným kovům. Polykrystalický nitrid boru je využíván na nástroje pro soustružení a vyvrtávání a v poslední době v jemnozrnné verzi i pro frézovací nástroje. Vyměnitelné břitové destičky s vysokým podílem KBN jsou osvědčeny při obrábění superslitin, slinutých karbidů a tvrzených litinových válců. Nástroje s KBN zaručují vysokou kvalitu obrobeného povrchu a úběr materiálu. Tyto destičky se vyznačují vysokou životností oproti slinutým karbidům a řezné keramice. Důležitou podstatou pro práci s PKBN je dostatečný výkon stroje. [7]

3.7. Technologická úprava VBD

3.7.1. Metoda CVD

Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické napařování) je základní metodou povlakování slinutých karbidů a je charakterizována procesními teplotami 1000 až 1200 °C. Metoda se zakládá na chemické reakci sloučenin v plynném stavu (např. $TiCl_4$, $AlCl_3$ apod.), jenž jsou působením přivedené energie zahřáty na vysokou teplotu, při které se rozkládají. Produkty těchto chemických reakcí se ukládají na povrch substrátu. Např. při povlakování TiC tvoří plynnou atmosféru chlorid titanu, metan a vodík. Při povlakování Al_2O_3 se používá chlorid hlinitý a při povlakování TiN plynný dusík. K tomu, aby došlo k vytvoření povlaku, musí plynná náplň obsahovat i nekovový reaktivní plyn (např. NH_4 , CH_4 , N_2). V povlakovací atmosféře musí být zastoupen i nosný plyn (např. Ar, H_2), umožňující dopravu produktů reakce na povrch substrátu a svou schopností ovlivňující rychlost růstu vrstvy, umožňující řízení celého procesu povlakování. Tyto plyny brání nežádoucím vedlejším reakcím v přítomných plynech a mohou také rovněž redukcí oxidů na povlakovaném povrchu ovlivnit adhezi povlaku. Jelikož je regulace přívodu různých plynů do povlakovacího zařízení poměrně jednoduchá, je metoda CVD vhodná pro nanášení vícevrstvých povlaků, přičemž v jednom zařízení lze vytvářet nejrozličnější druhy povlaků. [7]










3.7.2. Metoda PVD

Metoda PVD (Physical Vapour Deposition - fyzikální napařování) je metodou původně vyvinutou pro povlakování nástrojů z rychlořezných ocelí, které nebyly díky nízkým pracovním teplotám (méně než 500 °C) tepelně ovlivněny. V dnešní době se tato metoda uplatňuje i při povlakování VBD ze SK, zvláště frézovacích (přerušovaný řez). Povlak vytvářený metodou PVD probíhá za velmi nízkého tlaku dopadajícími částicemi, jenž se uvolňují ze zdroje částic (terče). Dle fyzikální metody uvolňování částic se povlaky mohou tvořit napařováním, napařováním nebo iontovou implantací. Uvolněné a ionizované částice reagují s atmosférou povlakovací komory tvořenou inertním a reaktivním plynem (např. dusíkem a argonem). Zároveň jsou záporným předpětím (v řádu stovek voltů) urychlovány k povlakovanému povrchu. Povlak je tvořen jednotlivými dopadajícími atomy, které postupně vytvářejí spojující se zárodky a ostrůvky, až vytvoří souvislou vrstvu. [7]

3.8. Druhy opotřebení vyměnitelných břitových destiček

Při každé operaci obrábění dojde k různému opotřebení vyměnitelných destiček. Hlavní oblastí, v které se vyskytuje opotřebení je: čelo, hlavní hřbet, vedlejší hřbet a oblast poloměru špičky. Druh a opotřebení, které je viditelné na destičce nám sděluje informace o průběhu obrábění. Proto je vizuální kontrola destiček v průběhu a na konci zkušebního obrábění velmi důležitá. Při každé operaci obráběním je různé opotřebení VBD. Hlavními druhy opotřebení vyměnitelných břitových destiček při obrábění materiálu, které se mohou vyskytnout, jsou v následující tabulce. [6]

Tab. 3.4. Opotřebení VBD [6]

Opotřebení hřbetu	
Žlábkové opotřebení na čele	
Tvorba nárůstku	
Vrubové opotřebení hlavního hřbetu	
Oxidační rýha na vedlejším hřbetu	
Plastická deformace břitu	
Hřbenové trhliny	
Křehké porušování břitu	
Destrukce břitu	

Mechanismy vzniku opotřebení

Mechanismus opotřebení nástroje je charakterizován dvěma typy jevů: mechanickým a chemickým. Děje, které vedou k opotřebení břitu, můžeme rozdělit následujícím způsobem:

adheze a abraze – mechanické typy opotřebení

oxidace a difuze – chemické typy opotřebení

Abrazivní opotřebení je typem mechanického opotřebení. Mikroskopické, velmi tvrdé součásti odřezávají materiál nástroje podobným způsobem jako brusná zrna při broušení. Tento typ opotřebení je závislý na celkové dráze nástroje vzhledem k obrobku, na tvaru, velikosti a četnosti výskytu abrazivních částic a jejich tvrdosti. [6]

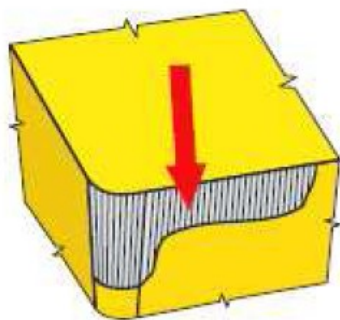
Adhezní opotřebení - jedná se o otěr účinkem adheze (tvorby mikrosvarů) mezi čistými kovovými povrchy slinutého karbidu a obráběného materiálu, kde přicházejí navzájem do styku na hřbetě i na čele. [6]

Oxidační opotřebení - při vyšších řezných rychlostech reagují některé součásti slinutého karbidu se vzduchem z okolní atmosféry, s řeznou kapalinou nahrazující vzdušné prostředí a s obráběným materiálem. [6]

Difuzní opotřebení - atomy nástrojového materiálu a materiálu obrobku vzájemně difundují a vytvářejí tuhé roztoky a chemické sloučeniny, jejichž vlastnosti jsou odlišné od vlastností výchozího materiálu nástroje. [6]

Opotřebení hřbetu

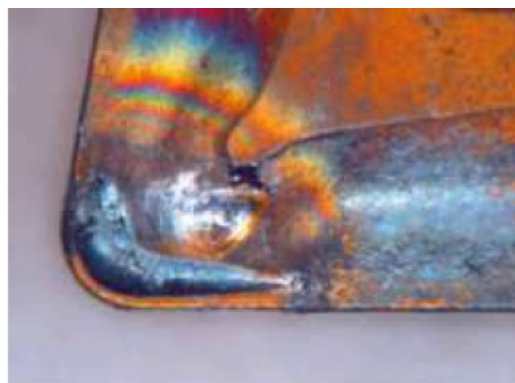
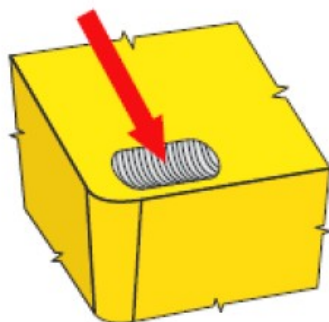
Jde o nejčastější typ opotřebení, kterému nejde nikdy zcela zabránit, jeho rozsah lze pouze snížit. Vysoké opotřebení hřbetu má za následek zhoršení kvality obrobeného povrchu, rozměrovou nepřesnost a zvýšení tření, které souvisí se zmenšením úhlu hřbetu destičky. Nejčastěji při hrubování dochází v důsledku změny geometrie ke zhoršenému procesu řezání, které se projevuje vibracemi, větší energetickou náročností obrábění a tím se zvyšuje riziko destrukce břitu. Velmi rychlé opotřebení břitu vzniká při vysokých řezných rychlostech. [6]



Obr. 3.2. Opotřebení hřbetu VBD [6]

Žlábkové opotřebení na čele

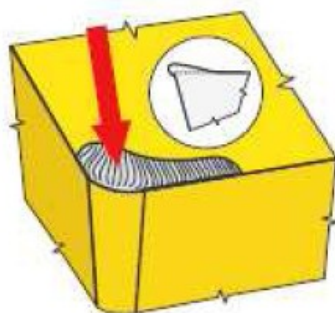
Toto opotřebení je kombinace působení mechanismu difuze a abraze. Žlábek vznikne v kontaktním místě mezi odcházející třískou a čelem břitu a to částečně brousícím efektem tvrdých částic v obrobeném materiálu (tříске), zejména difuzí v místě břitu, kde je nejvyšší teplota. Příliš vysoké žlábkové opotřebení mění řeznou geometrii břitu a tím může ovlivnit tvar a směr odchodu třísek, směr působení řezných sil a to vše může vést k nebezpečnému zeslabení břitu. Žlábkové opotřebení vzniká vysokou řeznou rychlostí nebo nedostatečnou otěruvzdorností materiálu VBD. Další příčinou může být vysoký posuv. Při tomto posuvu vzniká velký tlak a tím dojde k narušení destičky. Pro snížení žlábkového opotřebení na čele se musí snížit řezná rychlost a nebo použít otěruvzdornější materiály či povlakované destičky. [6]



Obr. 3.3. Žlábkové opotřebení na čele VBD [6]

Tvorba nárůstku

Je to charakteristický adhezní mechanismus opotřebení – nalepování materiálu na břit vyměnitelné břitové destičky. Nalepený materiál má charakter návaru na břitu. Návar má sklon vytvářet další vrstvy a při dosažení určité kritické tloušťky se opakovaně odtrhávat. Nárůstek mění geometrii břitu, zhoršuje podmínky destičky a tak dochází k zhoršení jakosti obráběné plochy. Tvorba nárůstku souvisí s řeznou rychlostí. Častou příčinou tvorby nárůstku je nízká teplota v řezné zóně způsobena pomalou řeznou rychlostí. [6]

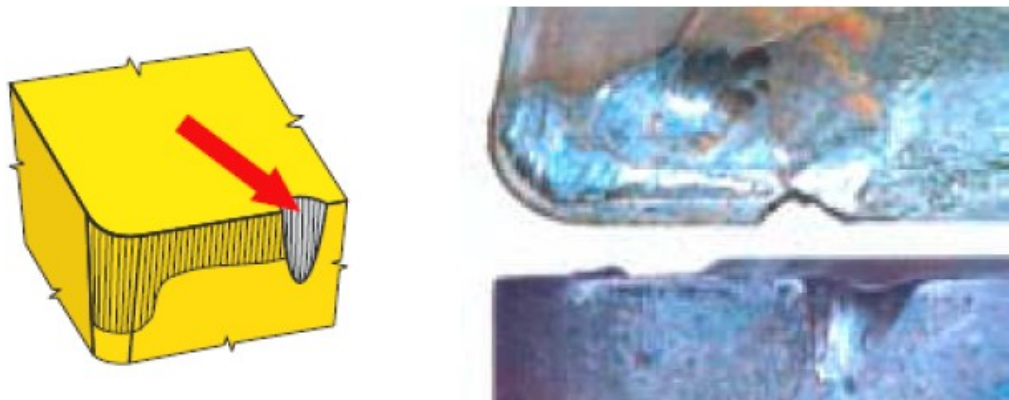


Obr. 3.4. Nárůstek na čele VBD [6]

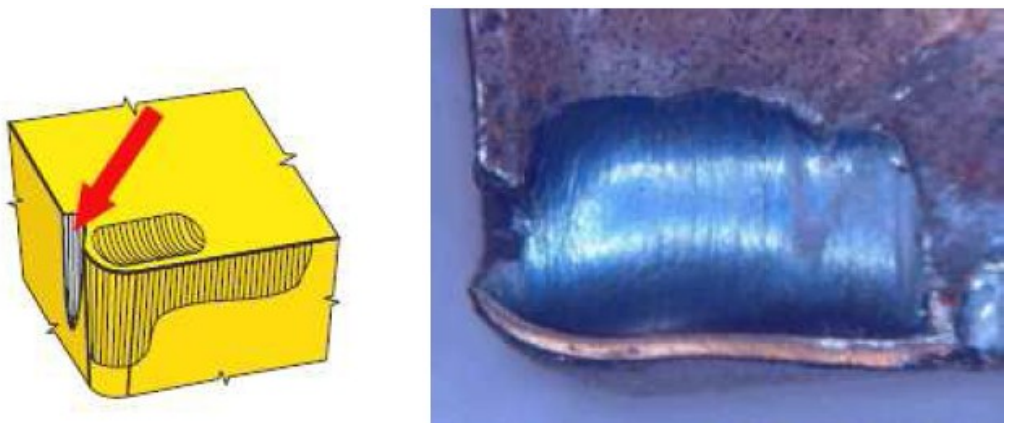
Opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu

Je to opotřebení adhezního charakteru, ale může souviset i s oxidací. Rozlišujeme dva případy:

- vrubové opotřebení na hlavním hřbetu bříty - vzniká v kontaktu hlavního bříty s povrchem obrobku – obráběnou plochou,
- vrubové opotřebení vedlejšího bříty – jde o typické oxidační opotřebení. Vzniká často při soustružení. [6]



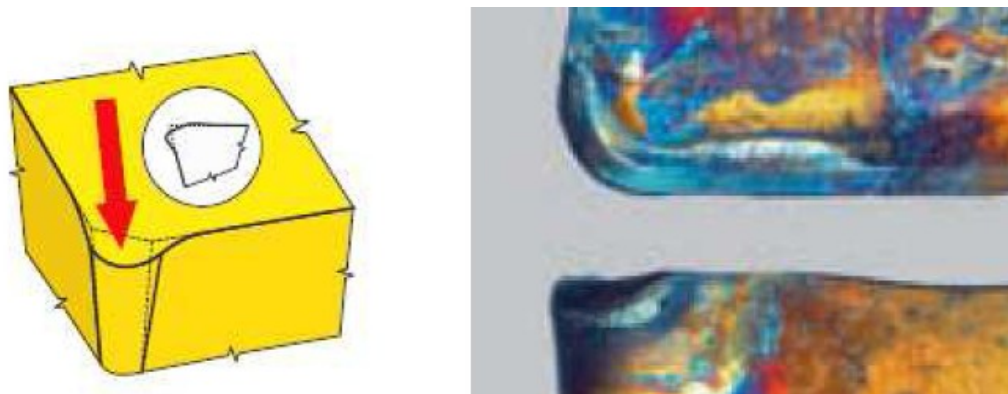
Obr. 3.5. Vrubové opotřebení na hlavním hřbetu VBD [6]



Obr. 3.6. Oxidační rýha na vedlejším hřbetu VBD [6]

Plastická deformace břitu

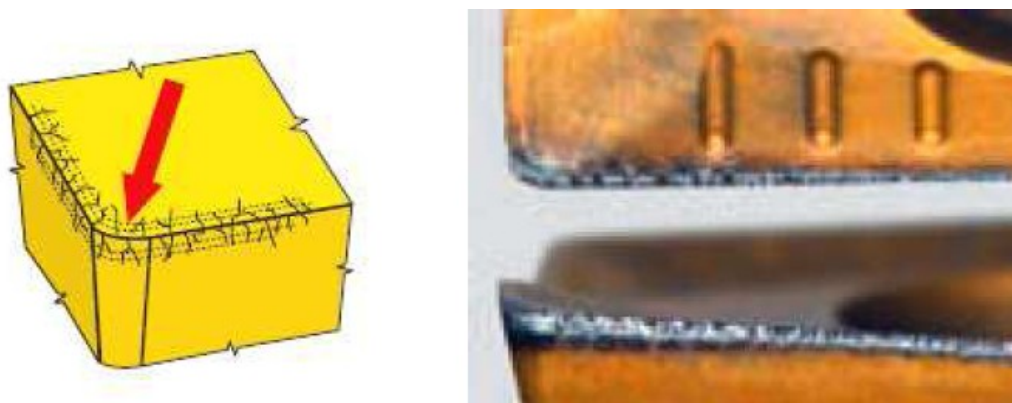
Vzniká kombinací vysokých teplot a tlaků při vysoké řezné rychlosti a posuvu. Dosažením kritické teploty dojde vlivem struktury změn v řezném materiálu k poklesu jeho tvrdosti. Plastickou deformaci břitu lze korigovat použitím otěruvzdorných materiálů. Dále můžeme použít chlazení a tím se zabráni zvýšení teploty. Vyšší odolnosti břitu dosáhneme použitím destičky s větším úhlem špičky nebo větším poloměrem špičky. [6]



Obr. 3.7. Plastická deformace špičky VBD [6]

Hřebenovité trhliny

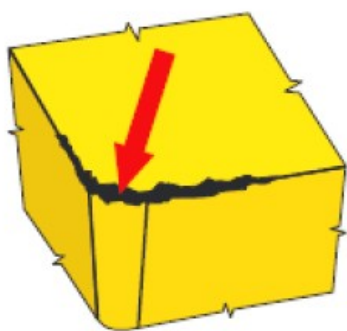
Jedná se o opotřebení způsobené nadměrnou tepelnou změnou při obrábění. Při této změně dojde k únavě řezného materiálu. Nesprávným použitím procesní kapaliny dojde k vzniku tepelných trhlin. V současné době se dosahuje vynikajících výsledků i při obrábění bez procesní kapaliny, jelikož výkon moderních VBD není na jejím použití závislý. Je doporučeno nepoužívat chlazení kapalinou, která zvyšuje teplotní rozdíly při záběru břitu v materiálu i mimo něj. [6]



Obr. 3.8. Hřebenovité trhliny břitu VBD [6]

Křehké porušování bříty

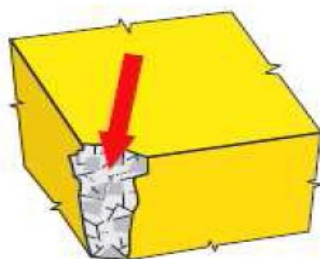
U tohoto typu opotřebení se břit místo rovnoměrného opotřebení vydroluje. Toto křehké porušování se nevyskytuje samostatně, ale společně s dalšími druhy opotřebení. Častou příčinou tohoto jevu je nízká tuhost soustavy stroj – nástroj – obrobek. Dalším problémem je cyklické namáhání při obrábění přerušovaným řezem. Jestliže se chceme vyvarovat tohoto děje, musíme na prvním místě zabezpečit maximální stabilitu stroje a upnutí destičky. Dále musíme snížit posuv při najíždění do záběru. Jindy pomůže jiná volba řezné geometrie VBD. [6]



Obr. 3.9. Křehké porušování bříty VBD [6]

Destrukce bříty nebo špičky

Lom bříty nebo špičky nástroje má mnoho příčin. Má spojitost s obráběným i řezným materiálem. Lom bříty je závažný problém, kdy může dojít k vážným škodám na nástroji, ale i na obrobku a obráběcím stroji. Při zlomení bříty, je nutné operaci zhodnotit ze všech stran a vyhodnotit řezná data i volbu nástroje. Lomu bříty zabráníme: nasazením houževnatějšího typu materiálu, volbou méně intenzivních řezných podmínek (posuvu a hloubky třísky), zvýšením mechanické odolnosti bříty, volbou většího úhlu špičky nebo poloměru zaoblení špičky, změnou utvařeče VBD, náhradou oboustranné destičky jednostrannou. [6]



Obr. 3.10. Destrukce bříty [6]

4. Experimentální ověření nových nástrojů

Ověření vhodnosti VBD s utvařečem FM pro vyvrtávací metody do materiálu 17349.4 jsem provedl na požádání firmy Pramet Tools, s.r.o. v Šumperku. Z pěti daných destiček jsem pomocí testů vyhodnotil VBD s nejlepšími vlastnostmi pro vyvrtávání do korozivzdorné oceli. Druhy vyhodnocených destiček s utvařečem FM, UM, UR, FM2 typu C. V testu jsem porovnával řezné nástroje podniku Pramet Tools, s.r.o. a konkurenční firmy SECO, která je velkým konkurentem na trhu obráběcích nástrojů. Daný test byl prováděn přímo ve firmě Pramet Tools, s.r.o. na zkušebně, kde jsem testoval jednotlivé destičky a sledoval chování v jednotlivých intervalech. Časové intervaly byly zvoleny nejčastěji po 5 minutách. Materiál, na kterém byla zkouška provedena – korozivzdorná ocel 17349.4, skupiny M a tvrdostí 180 HB. Každý časový interval jsem zaznamenával fotodokumentací a následně vyhodnotil pomocí grafů v programu Office Excel.

4.1. Charakteristika stroje

Pro tento test byl zvolen stroj Heynumat 2U, který se používá ve zkušebně Pramet Tools, s.r.o. pro testování nejrůznějších vzorků.



Obr. 4.1. Heynumat 2U [8]

Tab. 4.1. Hlavní technické údaje stroje [8]

Typ stroje	Heynumat 2Ux1500
Výrobce	Heyligenstaedt
Rok výroby	1998
Výkon motoru	50 kW
Otáčky vřetene	1800 ot. min ⁻¹
Počet nástrojových poloh	8
Hmotnost	20 000 kg

4.2. Použitý materiál, na němž byla zkouška provedena

Pro provedení zkoušky byl použit materiál 17349.4. Jedná se o korozivzdornou ocel. Tato ocel je vysoce legovaná se zvýšenou odolností vůči chemické i elektrochemické korozi. Tento materiál se využívá v potravinářském průmyslu, automobilovém průmyslu a ve stavebnictví. U obrábění korozivzdorné oceli dochází k rychlejšímu opotřebení destiček, protože se tento materiál vyznačuje vysokou tvrdostí. Velmi důležitou vlastností oceli je vysoká odolnost vůči korozi a proto se využívá v takových odvětvích, kde se sklon ke korozi vyskytuje. Při leštění tohoto materiálu je velmi těžké dosáhnout zrcadlového lesku. [12]



Obr. 4.2. Materiál 17349.4

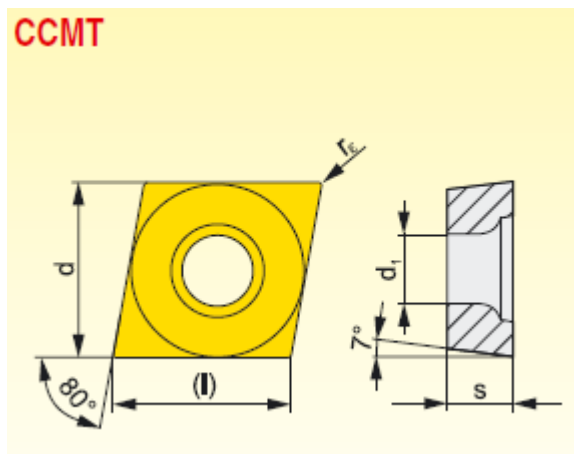
Tab. 4.2. Mechanické vlastnosti materiálu 17349.4 [12]

Mechanické vlastnosti	
Pevnost v tahu	R_m 520 - 680 N/mm ²
Mez kluzu	R_p 0,2 min. 220 N/mm ²
Tažnost	A80mm min. 40%
Žíhací teplota	1000 - 1100°C

4.3. Použité vyměnitelné břitové destičky

4.3.1. Použití VBD CCMT

- dokončovací soustružení, vyvrtávání,
- hlavní oblast užití - obráběné materiály skupiny P, M a K, vedle soustružení je tato geometrie používána i pro vyvrtávání,
- kontinuální i přerušovaný řez. [9]



Obr. 4.3. Destička CCMT [9]

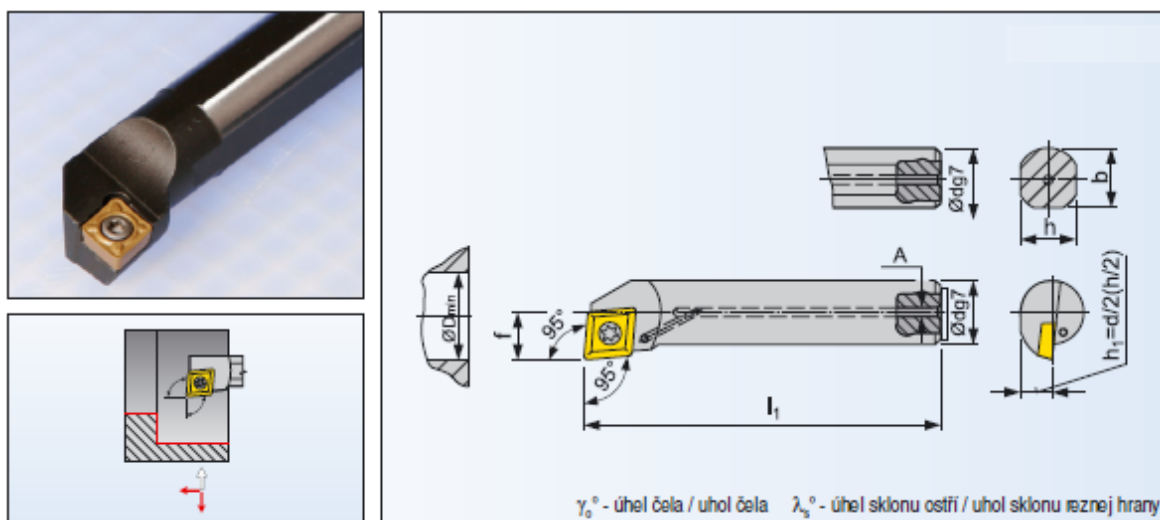
Tab. 4.3. Rozměry destičky [9]

Velikost	l [mm]	d [mm]	d ₁ [mm]	s [mm]
09T3	9,7	9,525	4,40	3,97

Tab. 4.4. Parametry VBD [9]

ISO	Utvařec	Materiál	Rádus	Posuv na otáčku		Hloubka řezu	
			r [mm]	f_{\min} [mm]	f_{\max} [mm]	$a_{p \min}$ [mm]	$a_{p \max}$ [mm]
CCMT 09T304E	FM	3025	0,4	0,08	0,25	0,4	3,0
CCMT 09T304E	UM	8030	0,4	0,08	0,25	0,5	3,0
CCMT 09T304E	UR	8030	0,4	0,08	0,30	0,4	2,0
CCMT 09T304E	UR	3025	0,4	0,08	0,30	0,4	2,0
CCMT 09T304	MF2	CP500	0,4	0,08	0,25	0,4	3,0

4.4. Řezný nástroj



Obr. 4.4. Řezný nástroj [9]

Tab. 4.5. Parametry nástroje [9]

ISO	Rozměry									
	$\varnothing dg7$ [mm]	f [mm]	l_t [mm]	h [mm]	b [mm]	A [mm]	$\varnothing D_{\min}$ [mm]	λ_s [°]	γ_o [°]	m [kg]
A25R – SCLCR / L09	25	17	200	23	23	8	32	-3	0	0,65

4.5. Řezné podmínky

Tab. 4.6. Řezné podmínky

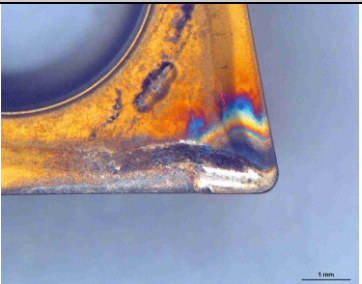
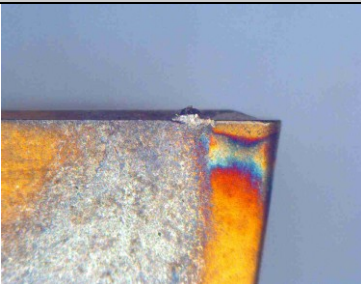
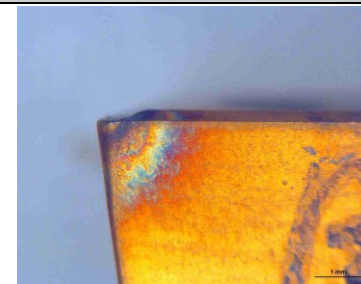
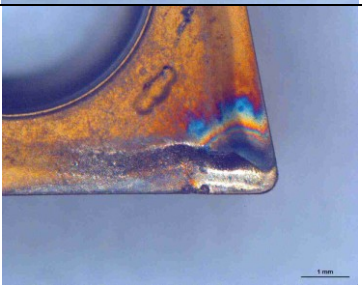
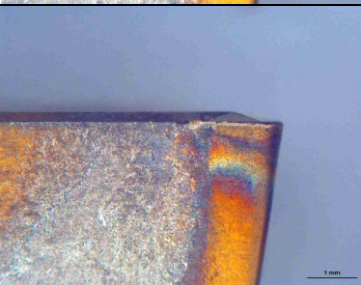
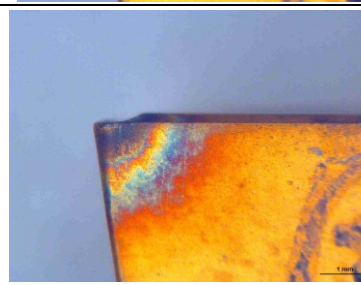
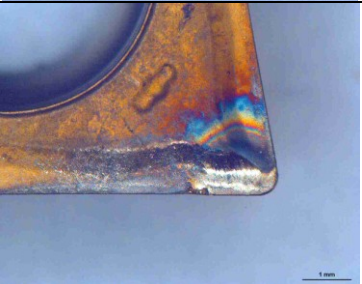
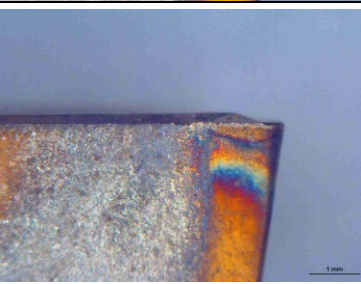
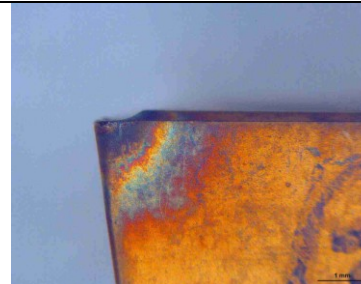

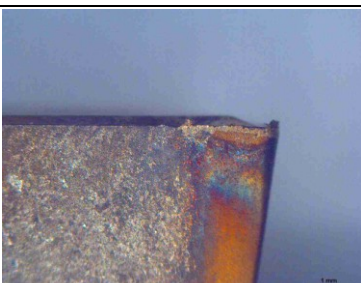
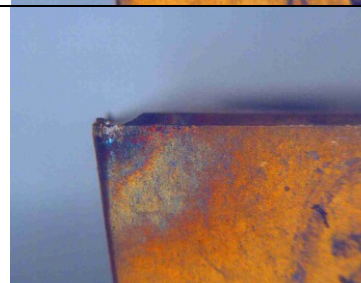

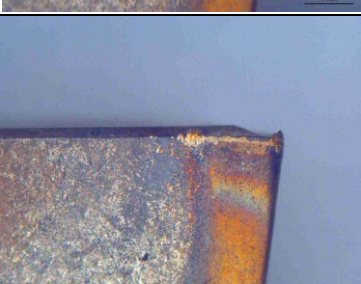
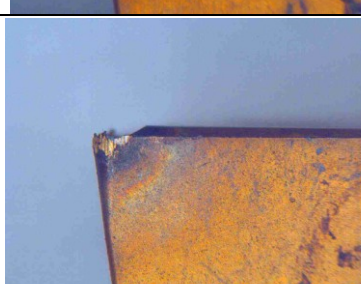

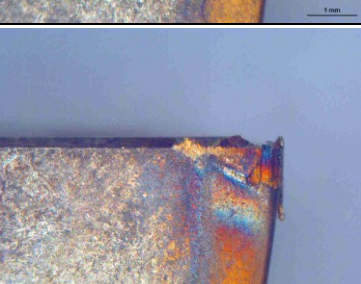
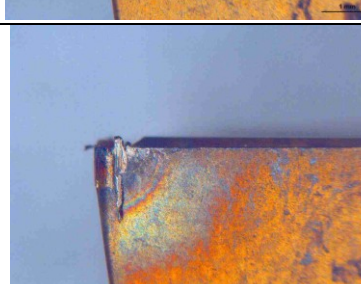
Řezná rychlost v_c	[m.min⁻¹]	130
Posuv f_{ot}	[mm]	0,20
Hloubka řezu a_p	[mm]	1,50

4.6. Popis provedeného experimentu

4.6.1. Destička s utvařečem FM s povlakem P523 Pramet Tools, s.r.o.

Jako první řezný nástroj byla testována destička s nově vyvinutým utvařečem FM a novým povlakem P523 od Pramet Tools, s.r.o. Po upevnění do stroje obráběla destička materiál 10 minut a byla vyjmuta a následně dána pod mikroskop. První vizuální zkouškou bylo sledování čela nástroje a následné zkoumání hlavního hřbetu destičky a vedlejšího hřbetu destičky. Jak je vidět na fotodokumentaci v tab. 4.7., po 10 minutách se na destičce nic podstatného nestalo. Destička se znovu upnula a obráběla materiál dalších 5 minut, poté byla vyjmuta a opět dána pod mikroskop a zde jde vidět, viz .tab. 4.7., jak se na destičce začalo mírně tvořit oxidační opotřebení na čele. Další doba testování byla 5 minut a následné zkoumání ukázalo, že nenastala žádná změna - oxidační opotřebení se nerozšířilo. Následující doba byla opět 5 minut. Na čele se začala tvořit oxidace a opotřebení špičky se projevovalo mírným vylamováním materiálu. Hlavní hřbet obsahoval malé oxidační opotřebení. Na vedleším hřbetu se začal tvořit malý nárůstek z materiálu. Po 30 minutách se oxidační rýha zvětšila na čele a na hlavním hřbetu se vytvořila plastická deformace, na vedleším hřbetu začala deformace špičky. Po 33 minutách (obr. v tabulce) došlo k totálnímu zničení vyměnitelné břitové destičky. Na čele se vytvořila plastická deformace a velké opotřebení špičky s oxidačním opotřebením. Na hlavním hřbetu došlo k velmi vysokému oxidačnímu opotřebením a jak jde vidět na vedleším hřbetu došlo k odlomení materiálu destičky. Daná destička vydržela obrábět daný materiál 33 minut.

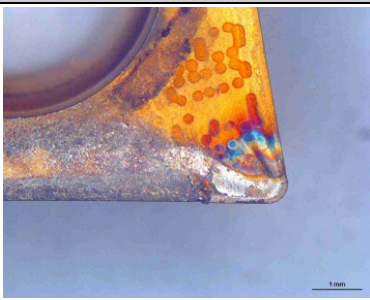
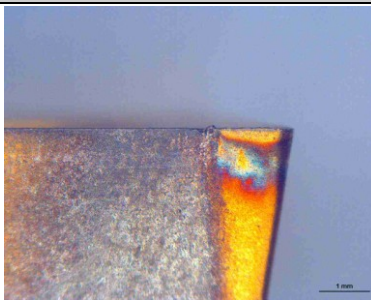
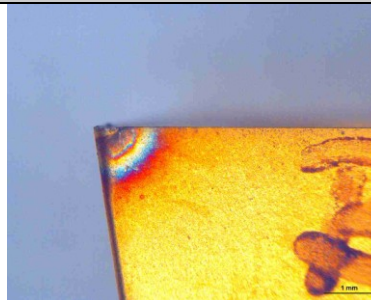
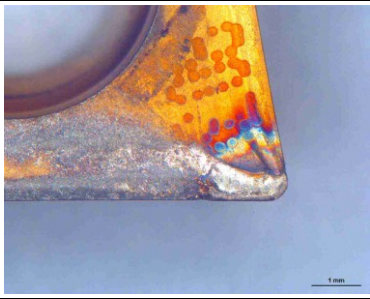
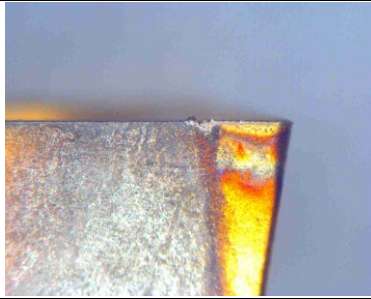
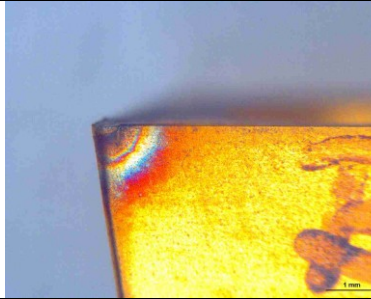
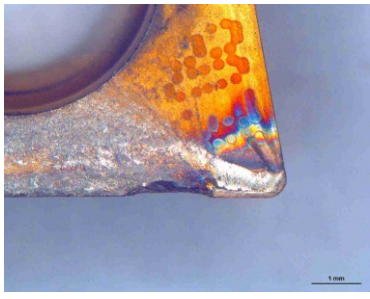
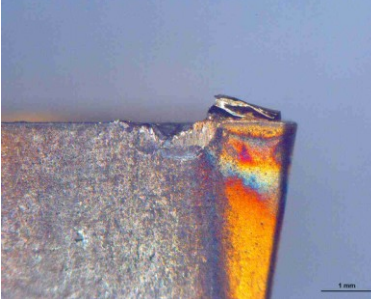
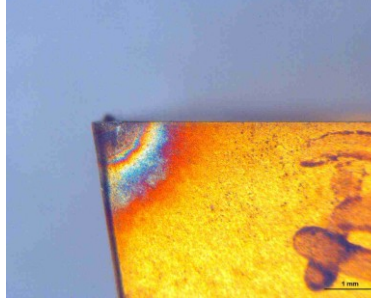
Tab. 4.7. Opotřebení destičky s utvařečem FM s povlakem P523

Čas [min]	Čelo destičky	Hlavní hřbet destičky	Vedlejší hřbet destičky
10			
15			
20			
25			
30			
33			

4.6.2. Destička s utvařečem UM s povlakem P010 Pramet Tools, s.r.o.

Další VBD destička s utvařečem UM s povlakem P010 byla od Pramet Tools, s.r.o. Tato destička obráběla materiál 5 minut a následná vizuální zkouška pod mikroskopem nám neukázala žádné opotřebení. Proto destička obráběla dalších 5 minut a na čele se začalo tvořit malé oxidační opotřebení, toto opotřebení bylo i na hlavním hřbetu. Po dalších 5 minutách došlo k velmi vysokému oxidačnímu opotřebení a ke zničení bříty. Na hlavním hřbetu došlo k odlomení velké části materiálu destičky a také vznikl nárůstek. Vedlejší hřbet byl bez známek poškození. Destička vydržela obrábět materiál 15 minut.

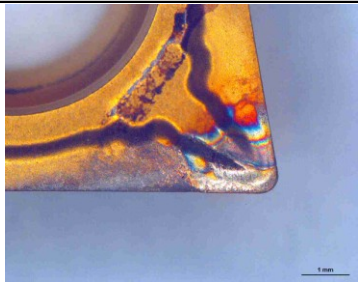
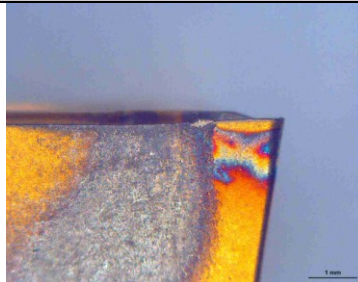
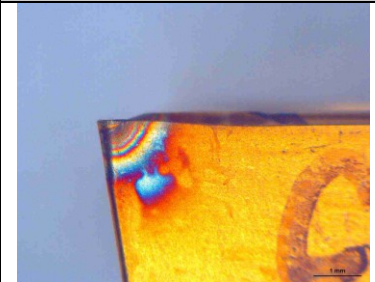
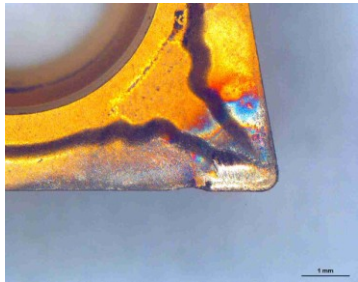
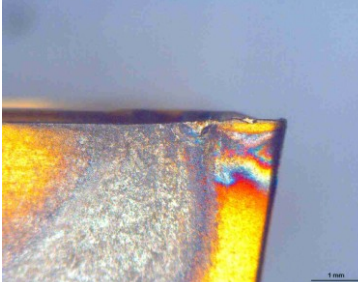
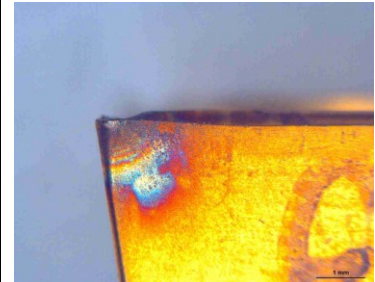
Tab. 4.8. Opotřebení destičky s utvařečem UM s povlakem P010

Čas [min]	Čelo destičky	Hlavní hřbet destičky	Vedlejší hřbet destičky
5			
10			
15			

4.6.3. Destička s utvařečem UR s povlakem P010 Pramet Tools, s.r.o.

Destička s utvařečem UR obráběla materiál 5 minut, na čele se nevytvořilo žádné opotřebení, na hlavním hřbetu se projevovala mírná plastická deformace. Po 10 minutách obrábění se na čele vytvořilo oxidační opotřebení. Na hlavním hřbetu se vytvořilo malé oxidační opotřebení s malou plastickou deformací. Tato destička vydržela obrábění 10 minut.

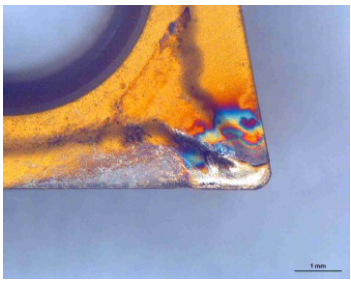
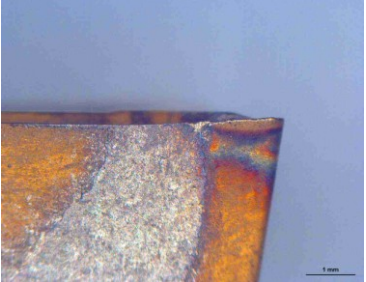
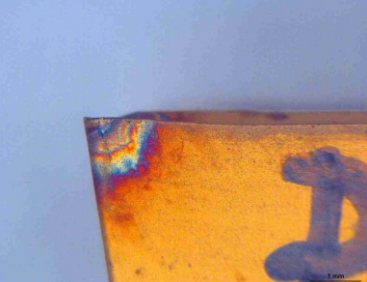
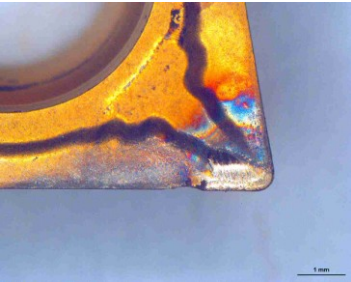
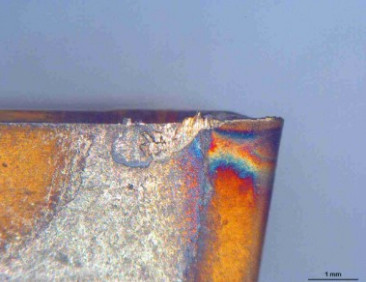
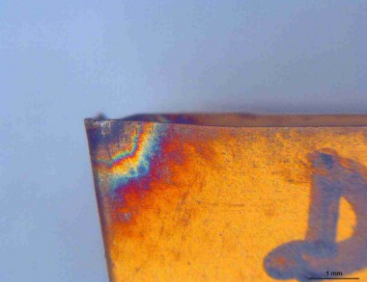
Tab. 4.9. Opotřebení destičky s utvařečem UR s povlakem P010

Čas [min]	Čelo destičky	Hlavní hřbet destičky	Vedlejší hřbet destičky
5			
10			

4.6.4. Destička s utvařečem UR s povlakem P523 Pramet Tools, s.r.o.

Daná VBD obráběla 5 minut materiál a byla vyjmuta (viz.tab.4.10.). Na čele se vytvořilo velmi malé oxidační opotřebení. Na hlavním a vedlejším hřbetu se začala projevovat plastická deformace. Už po 10 minutách se na čele zvětšilo oxidační opotřebení a na hlavním hřbetu došlo k plastické deformaci. Došlo k velmi vysoké oxidaci a k ulomení materiálu. Daná destička obráběla materiál 10 minut.

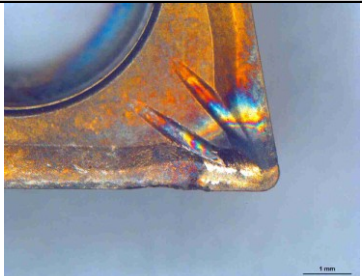
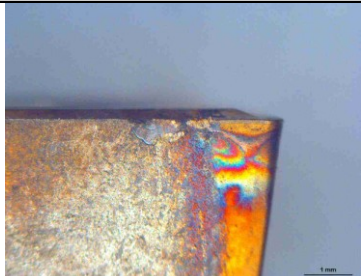
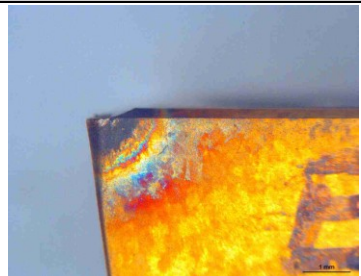
Tab. 4.10. Opotřebení destičky s utvařečem UR s povlakem P523

Čas [min]	Čelo destičky	Hlavní hřbet destičky	Vedlejší hřbet destičky
5			
10			

4.6.5. Destička s utvařečem MF2 s povlakem PVD od firmy SECO

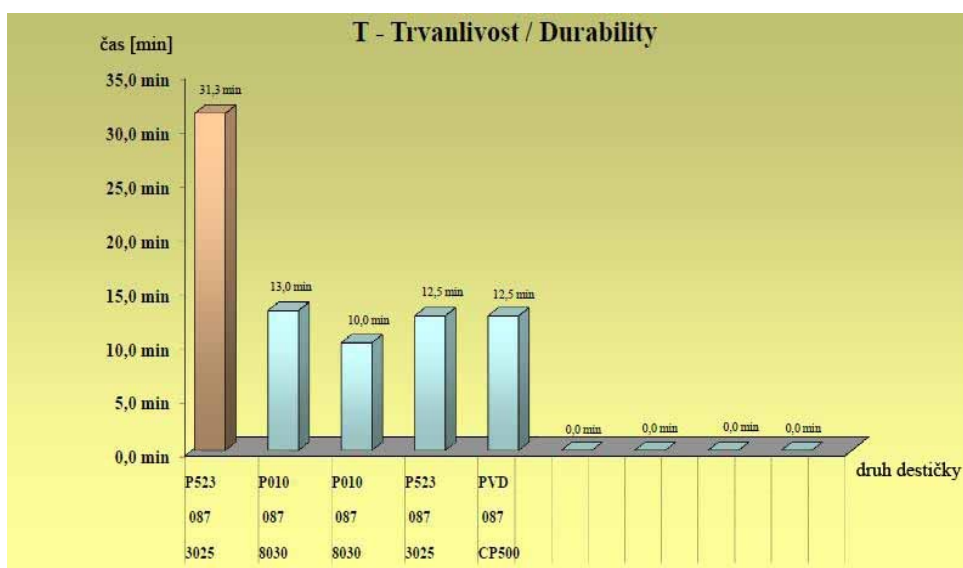
Destička od firmy SECO byla upnuta do stroje a obráběla daný materiál 15 minut. Již po tak krátké době byla destička velmi zničena (viz.tab. 4.11.). Na čele se vytvořilo velmi vysoké oxidační opotřebení a na hlavním hřbetu vznikla plastická deformace s oxidačním opotřebením a došlo k malému odlomení materiálu. Zkouška byla ukončena s opotřebením špičky. Destička od konkurenční firmy SECO vydržela obrábět materiál 15 minut.

Tab. 4.11. Opotřebení destičky s utvařečem FM2 s povlakem PVD

Čas [min]	Čelo destičky	Hlavní hřbet destičky	Vedlejší hřbet destičky
15			

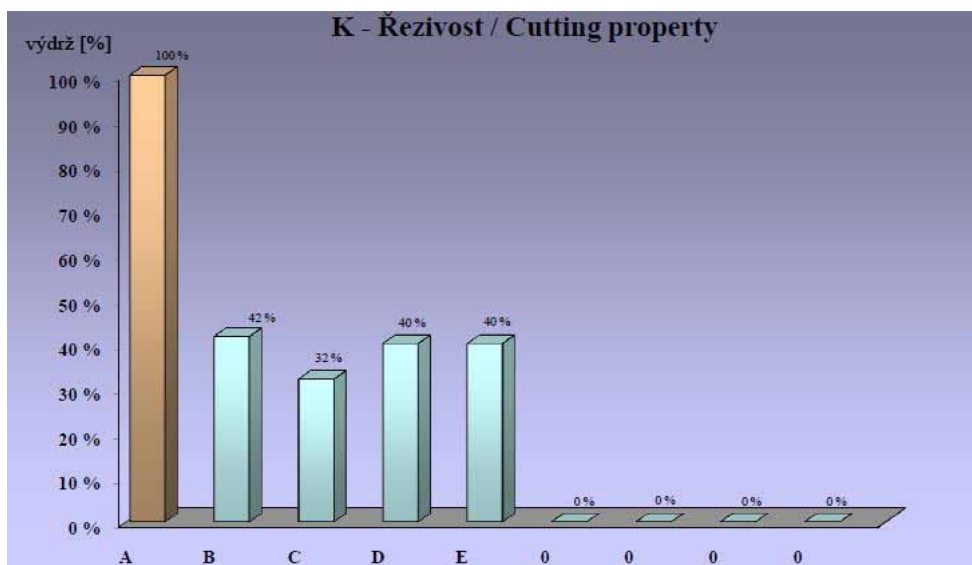
5. Diskuze experimentů

Do programu Office Excel jsem zadal hodnoty jednotlivých zkoušek a vytvořil graf trvanlivosti, řezivosti a průběhu opotřebení jednotlivých vyměnitelných břitových destiček. A jak je patrné z grafu, nejvyšší trvanlivost (a to podstatně vyšší než ostatní zkoušené VBD) mají VBD 3025 s utvařečem FM. Trvanlivost VBD B - E byla ukončena rozšířením vrubu na konci záběru - opotřebením špičky. Geometrie utvařeče FM spolu s povlakem P523 zřejmě do značné míry omezuje tvoření vrubu při obrábění materiálu.



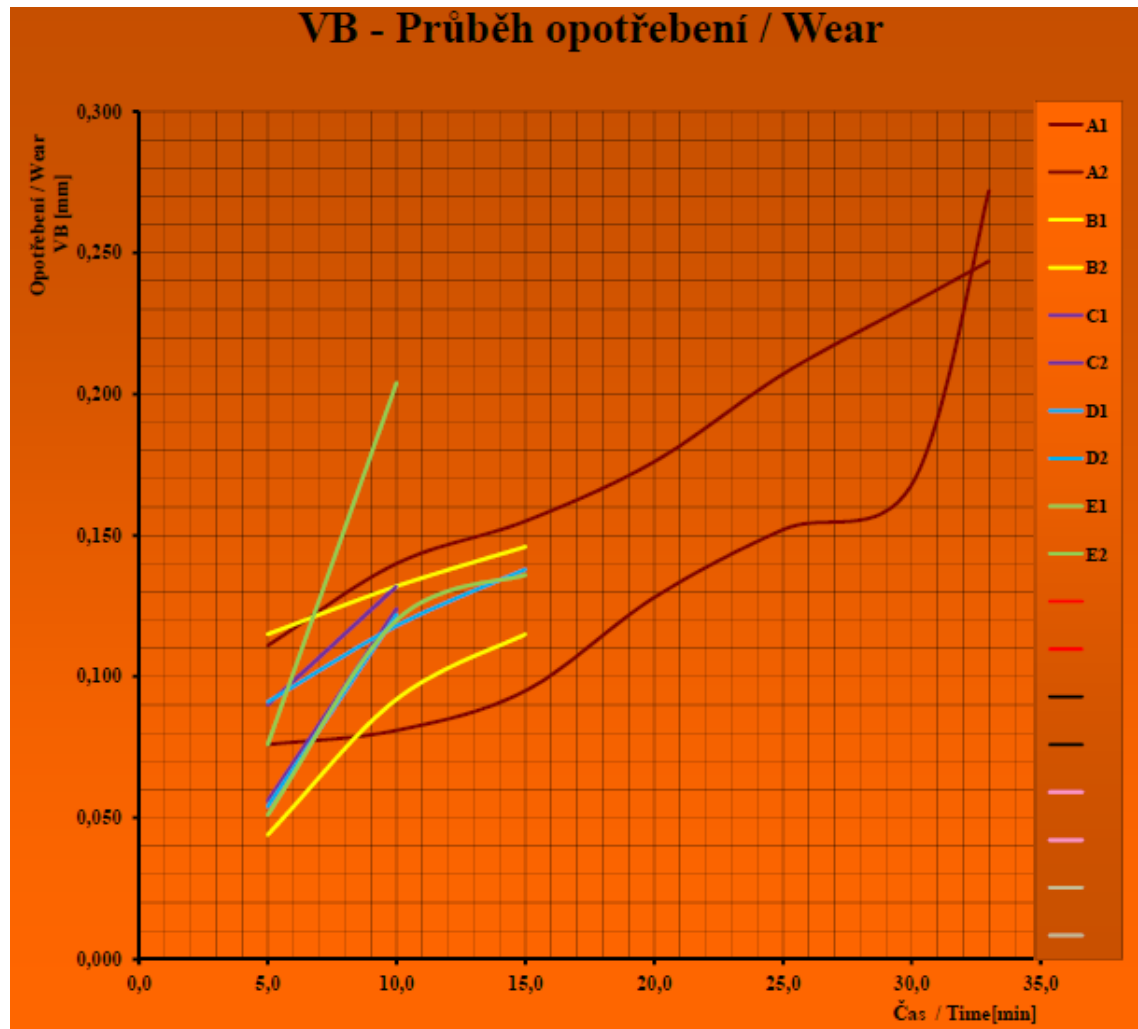
Obr. 5.1. Trvanlivost VBD

Z následujícího grafu řezivosti je zřejmé, že test vyhrála destička s utvařečem FM a povlakem P523 od firmy Pramet Tools, s.r.o. a je výrazně nejlepší pro vyvrtávání do korozivzdorné oceli 17349.4.



Obr. 5.2. Řezivost VBD

Z průběhu opotřebení byla nejlepší vyměnitelná břitová destička s povlakem P523 od podniku Pramet Tools, s.r.o. Tato destička vydržela nejdéle obrábět materiál a je nejvíce vhodná pro vyvrtávání do korozivzdorné oceli.



Obr. 5.3. Průběh opotřebení VBD

Pro obrábění korozivzdorné oceli 17349.4 v oblasti předepsaných podmínek se prokázalo, že destička s utvařečem FM s povlakem P523 od Pramet Tools, s.r.o. se jeví jako neproduktivnější na trhu.

6. Technicko – ekonomické zhodnocení

Při výpočtu vycházím ze vzorců používaných podnikem Pramet Tools, s.r.o. a z dat spotřeby vybraného zákazníka:

$$N_{CELK} = N_S + N_N + N_V$$

Kde:

N_{CELK} = celkové náklady na obrobení 1 obrobku závislé na řezných podmínkách

N_S = náklady na strojní čas (podíl odpisu obráběcího stroje, náklady na mzdy, energii a údržbu stroje a náklady na podpůrné pracoviště)

N_V = náklady na výměnu otupeného břitu

N_N = náklady na nástroj

$$N_S = \frac{\text{sazba stroje}}{60} \cdot \text{strojní čas na obrobek} \quad [\text{Kč} / \text{ks}]$$

$$N_V = \frac{\text{sazba stroje}}{60 \cdot \text{trvanlivost}} \quad [\text{Kč} / \text{ks}]$$

$$N_N = \frac{\text{cena destičky}}{\text{počet řezných hran} \cdot \text{trvanlivost}} \quad [\text{Kč} / \text{ks}]$$

Sazba stroje = 1500 Kč / hod.

Strojní čas na obrobek = 1 min. / 1 ks

$$\text{Trvanlivost} = \frac{\text{trvanlivost}[\text{min}]}{(1 \text{ min} / \text{ks})} \quad [\text{ks}]$$

Tab. 6.1. Ceny vyměnitelných břitových destiček

Firma	Destička - označení	Materiál	Utvařec	Cena [Kč/ks]
Pramet Tools	CCMT 09T304E	3025	FM	155
Pramet Tools	CCMT 09T304E	8030	UM	143
Pramet Tools	CCMT 09T304E	8030	UR	143
Pramet Tools	CCMT 09T304E	3025	UR	155
SECO	CCMT 09T304	CP500	MF2	206

CCMT 09T304E FM 3025

Trvanlivost destičky 31 ks

$$N_N = \frac{155}{2 \cdot 31} = 2,5 \text{ Kč / ks}$$

$$N_V = \frac{1500}{60 \cdot 31} = 0,81 \text{ Kč / ks}$$

$$N_S = \frac{1500}{60} \cdot 1 = 25 \text{ Kč / ks}$$

$$N_{CELK} = 2,5 + 0,81 + 25 = 28,31 \text{ Kč / ks}$$

CCMT 09T304E UM 8030

Trvanlivost destičky 13 ks

$$N_N = \frac{143}{2 \cdot 13} = 5,5 \text{ Kč / ks}$$

$$N_V = \frac{1500}{60 \cdot 13} = 1,92 \text{ Kč / ks}$$

$$N_S = \frac{1500}{60} \cdot 1 = 25 \text{ Kč / ks}$$

$$N_{CELK} = 5,5 + 1,92 + 25 = 32,42 \text{ Kč / ks}$$

CCMT 09T304E UR 8030

Trvanlivost destičky 10 ks

$$N_N = \frac{143}{2 \cdot 10} = 7,15 \text{ Kč / ks}$$

$$N_V = \frac{1500}{60 \cdot 10} = 2,5 \text{ Kč / ks}$$

$$N_S = \frac{1500}{60} \cdot 1 = 25 \text{ Kč / ks}$$

$$N_{CELK} = 7,15 + 2,5 + 25 = 34,65 \text{ Kč / ks}$$

CCMT 09T304E UR 3025

Trvanlivost destičky 12 ks

$$N_N = \frac{155}{2 \cdot 12} = 6,46 \text{ Kč / ks}$$

$$N_V = \frac{1500}{60 \cdot 12} = 2,1 \text{ Kč / ks}$$

$$N_S = \frac{1500}{60} \cdot 1 = 25 \text{ Kč / ks}$$

$$N_{CELK} = 6,46 + 2,1 + 25 = 33,56 \text{ Kč / ks}$$

CCMT 09T304 MF2 CP500

Trvanlivost destičky 12 ks

$$N_N = \frac{206}{2 \cdot 12} = 8,58 \text{ Kč / ks}$$

$$N_V = \frac{1500}{60 \cdot 12} = 2,1 \text{ Kč / ks}$$

$$N_S = \frac{1500}{60} \cdot 1 = 25 \text{ Kč / ks}$$

$$N_{CELK} = 8,58 + 2,1 + 25 = 35,68 \text{ Kč / ks}$$

Tab. 6.2. Ceny vyměnitelných břitových destiček při obrábění

Destička - označení		Trvanlivost	N_N	N_V	N_S	N_{CELK}	Dávka 1000 ks obrobku
		[ks]	[Kč/ks]	[Kč/ks]	[Kč/ks]	[Kč/ks]	[Kč]
CCMT 09T304E FM	3025	31	2,5	0,81	25	28,31	28 310
CCMT 09T304E UM	8030	13	5,5	1,92	25	32,42	32 420
CCMT 09T304E UR	8030	10	7,15	2,5	25	34,65	34 650
CCMT 09T304E UR	3025	12	6,46	2,1	25	33,56	33 560
CCMT 09T304 MF2	CP500	12	8,58	2,1	25	35,68	35 680

Počet obrobených kusů v jedné dávce je 1000 ks. Za rok se obrobí 10 dávek. Ročně zaplatí firma za destičky od Pramet Tools, s.r.o. 283 100 Kč. Při použití destičky od firmy SECO zaplatí ročně 356 800 Kč. Roční úspora činí 73 700 Kč. Z daného testu vyplývá, že destičky CCMT 09T304E FM 3025 jsou cenově výhodnější a produktivnější pro vyvrtávání.

Závěr

Tato bakalářská práce se věnuje ověřování nových vyměnitelných břitových destiček pro vyvrtávání. Praktické záležitosti mi byly umožněny podnikem Pramet Tools, s.r.o., sídlícím v Šumperku. Cílem bylo vybrat pomocí experimentálních zkoušek destičku, která má nejlepší vlastnosti pro vyvrtávání do korozivzdorného materiálu 17349.4 a následné vyhodnocení daných destiček.

Na začátku jsem byl obeznámen s druhy destiček, u kterých jsem měl danými testy zjistit životnost a potom vyhodnotit tu, která se nejlépe hodí pro vyvrtávání do korozivzdorné oceli. Po seznámení s daným experimentem mi byly zadány materiály na prostudování.

Test zadaného úkolu byl proveden ve zkušebně podniku Pramet Tools, s.r.o., za přítomnosti a dohledu kvalifikovaných pracovníků. Testovaly se čtyři druhy destiček Pramet Tools, s.r.o. a jedna VBD konkurenční firmy. Test probíhal jeden týden.

Po ukončení daného testu bylo provedeno vyhodnocení trvanlivosti, řezivosti a opotřebení. Získané hodnoty jsem zadal do počítače a vyhodnotil graficky. Ze získaných hodnot vyplynulo, že destička s utvařečem FM a povlakem P523 podniku Pramet Tools, s.r.o., je pro zákazníka nejvhodnější: jak z hlediska délky doby obrábění, trvanlivosti, řezivosti, tak i z hlediska cenové přijatelnosti. Při použití destičky CCMT 09T304E s utvařečem FM 3025 od Pramet Tools, s.r.o. firma ušetří roční náklady 73 700 Kč.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. z katedry obrábění a montáže VŠB – TU Ostrava, za jeho poskytnuté rady při psaní této práce. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům Prametu Tools, s.r.o., na pracovišti zkušebna za to, že mi poskytli informace a pomohli při experimentu. Další poděkování patří panu Ing. Romanovi Reindlovi za poskytnutí materiálů a odbornou pomoc při zpracování této bakalářské práce.

Jan Schiffner

Seznam použité literatury

- [1] O firmě Pramet Tools, s.r.o. [online]. [cit. 5. února 2012]. Dostupné na WWW: <<http://www.pramet.com/indexad49.html?menu=firma1>>.
- [2] BRYCHTA, Josef. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. 251 s. ISBN 978-802-4815-053.
- [3] Otevřená encyklopedie. *Výhrubníky, Výstružníky* [online]. [cit. 5. února 2012]. Dostupné na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Výstružník>>.
- [4] ŘASA, Jaroslav; POKORNÝ, Přemysl; GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2001, 221 s. ISBN 80-718-3227-8.
- [5] NAREX MTE, s.r.o. Praha: *Výhody vyvrtávání*. 2001. 3s. [online]. [cit. 5. února 2012]. Dostupné na WWW: <http://www.narexmte.cz/usnadneni/TO_vyvrtavani.pdf>.
- [6] Pramet Tools, s.r.o., Šumperk: *Teorie obrábění – Pokročilý*. 2008. 110s.
- [7] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích strojů*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. 148 s. ISBN 978-802-4810-539.
- [8] Heyligenstaedt. Giessen. *HEYNUMAT*. [online]. [cit. 5. února 2012]. Dostupné na WWW: <http://www.heyligenstaedt.de/english/e_heynumat.html>.
- [9] Pramet Tools, s.r.o., Šumperk: *Soustružení 2012*. 2012. 342s.
- [10] Pramet Tools, s.r.o., Šumperk: *Teorie obrábění – Odborník*. 2008. 102s.
- [11] Vrták. [online]. [cit. 5. února 2012]. Dostupné na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Vrták>>.
- [12] INOX, spol. s r.o. Praha. *Nerezová ocel 1.4404*. [online]. [cit. 5. února 2012]. Dostupné na WWW: <<http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14404.html>>.